

浙江农林大学学报, 2017, 34(1): 14–19

Journal of Zhejiang A & F University

doi:10.11833/j.issn.2095-0756.2017.01.003

雷竹对不同形态氮素养分的生理响应

叶莉莎, 陈双林

(中国林业科学研究院 亚热带林业研究所, 浙江 杭州 311400)

摘要: 氮素是植物必须的营养元素, 对植物生长影响重大。由于硝态氮(NO_3^- -N)和铵态氮(NH_4^+ -N)的形态差异, 两者对植物养分吸收和生理代谢的影响不同。针对雷竹 *Phyllostachys violascens* 培育中存在氮肥施用不当的问题, 通过设置 NO_3^- -N 和 NH_4^+ -N 不同比例, 即硝铵比为 1:0, 2:1, 1:1, 1:2, 0:1 的 5 个氮素形态营养处理, 测定了雷竹叶片和根系的丙二醛、可溶性蛋白质质量分数和抗氧化酶活性。结果表明: 相同的硝铵比处理下, 雷竹叶片丙二醛、可溶性蛋白质质量分数和抗氧化酶活性均高于根系, 叶片较根系对氮素营养的响应更为敏感。随着 NH_4^+ -N 增加, 雷竹叶片和根系丙二醛质量分数均呈先降低后升高趋势, 且在硝铵比为 1:1 时最低; 抗氧化酶活性总体上呈先升高后降低趋势, 混合营养处理的抗氧化酶活性均较高, 其中叶片超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化氢酶(CAT)活性在硝铵比为 1:2 时最高, 过氧化物酶(POD)在纯铵处理时最高; 根系 SOD 活性在硝铵比为 1:1 时最高, CAT 和 POD 活性在硝铵比为 1:2 时最高; 可溶性蛋白质质量分数也呈先升高后降低趋势, 叶片和根系分别在硝铵比为 1:2 和 1:1 时最高。综合分析认为: 混合氮素形态营养供应的雷竹叶片和根系的丙二醛质量分数较单一氮素形态供应低, 且可溶性蛋白质质量分数和抗氧化酶活性均能维持在较高水平, 说明混合氮素形态营养处理下雷竹受到的膜脂过氧化程度较低, 抗逆性较强。图 2 表 1 参 20

关键词: 植物生理学; 雷竹; 铵态氮; 硝态氮; 硝铵比; 抗氧化系统

中图分类号: S718.43; Q945.1

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2017)01-0014-06

Antioxidant system response to different forms and ratios of nitrogen in leaves and roots of *Phyllostachys violascens*

YE Lisha, CHEN Shuanglin

(Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Hangzhou 311400, Zhejiang, China)

Abstract: Nitrogen (N), a necessary plant nutrient for plant growth can be applied as nitrate nitrogen (NO_3^- -N) or ammonium nitrogen (NH_4^+ -N) but may have different effects on nutrient absorption and physiological metabolism of the plant. To determine a proper N fertilizer for *Phyllostachys violascens* cultivation, an experiment supplying N fertilizer with five different ratios of NO_3^- -N and NH_4^+ -N (1:0, 2:1, 1:1, 1:2, and 0:1) was conducted. Contents of malondialdehyde (MDA), soluble protein, and antioxidant enzyme activities were determined. Results showed that for the same treatment ratios of NO_3^- -N and NH_4^+ -N, MDA content, soluble protein, and antioxidant enzyme activities were higher in leaves than in roots. As the concentration of NH_4^+ -N increased, the MDA content in leaves and roots first decreased and then increased with the lowest MDA having a ratio of 1:1. Antioxidant enzyme activities first increased and then generally decreased having higher levels with mixotrophism. Superoxide dismutase (SOD) and catalase (CAT) activities in leaves were highest with the 1:2 ratio; whereas SOD activity in roots was highest with the 1:1 ratio, and CAT and peroxidase (POD) activities were highest with the 1:2 ratio. Soluble protein content also increased first and then decreased with

收稿日期: 2016-01-05; 修回日期: 2016-03-15

基金项目: 浙江省-中国林业科学研究院省院合作项目(2013SY12); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(RISF61258)

作者简介: 叶莉莎, 从事竹林生态与培育研究。E-mail: 13064798356@163.com。通信作者: 陈双林, 研究员, 博士, 从事竹林生态与培育研究。E-mail: cslbamboo@126.com

the highest for leaves in a 1 : 2 ratio and for roots in a 1 : 1 ratio. With mixed nutrition, MDA content was lower, but soluble protein content and antioxidant enzyme activities remained at much higher levels. Thus, with a mixture of NO_3^- -N and NH_4^+ -N at a 1 : 1 ratio, the degree of oxidative damage to leaves and roots of *Phyllostachys violascens* was least, and antioxidant enzyme activities were stronger, thereby boosting growth and biomass accumulation. [Ch, 2 fig. 1 tab. 20 ref.]

Key words: plant physiology; *Phyllostachys violascens*; nitrate nitrogen; ammonium nitrogen; nitrate/ammonium ratio; antioxidant system

硝态氮(NO_3^- -N)和铵态氮(NH_4^+ -N)均是植物能够直接吸收利用的氮源,由于两者的形式和离子性质存在差异,植物对其吸收途径、运输方式和同化过程也不相同,常表现出对 NO_3^- -N 和 NH_4^+ -N 的选择性吸收^[1-2],因此对植物生长和代谢产生不同生理效应^[3-5]。有研究表明,不同形态氮素显著影响菠菜 *Spinacia oleracea* 的营养品质和抗氧化酶活性,完全供应 NH_4^+ -N 时,菠菜叶片膜脂过氧化程度较高^[6]。全铵或全硝营养下,掌叶半夏 *Pinellia pedatisecta* 叶片丙二醛质量分数较高,膜脂过氧化程度高,铵硝比为 1 : 1 时丙二醛质量分数最低,相关酶活性最高^[7]。硝铵比为 75 : 25 和 50 : 50 条件下,菜用大豆 *Glycine max* 具有较低的抗氧化酶活性和丙二醛质量分数,受到的氧化胁迫较低^[8]。可见,了解植物对 NH_4^+ -N 或 NO_3^- -N 的生理响应,探讨促进植物良好生长的氮素形态配比,对指导林地科学施肥具有重要意义。雷竹 *Phyllostachys violascens* 具有成林快、出笋早、笋期长等优点,是优良的散生笋用竹种,对区域水源涵养、水土保持、固碳释氧和调节气候等方面也发挥着巨大的生态保护作用^[9-10]。自 20 世纪 80 年代以来,以大量施肥和冬季覆盖为主要措施的集约经营技术的推广,使雷竹林产量和经济效益明显提高。然而,长期过量施肥和林地覆盖会导致雷竹林地土壤劣变、立竹结构不合理、出笋量减少及氮素利用率下降、环境污染等负面问题^[11],因此,合理施肥就成为雷竹林可持续经营的重要研究内容。为此,本研究以雷竹盆栽苗为试材,通过设置不同的硝铵配比处理,试图明确土壤中不同氮素形态供应对雷竹抗氧化系统的生理影响机制,探讨促进雷竹生长的最优硝铵比,以期为雷竹林合理施用氮肥提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

2014 年 9 月在浙江省临安市太湖源镇(30°20' N, 119°37' E)雷竹林中挖取立竹胸径基本一致 [(2.48 ± 0.26) cm],生长健壮的 1 年生不带宿土的竹苗进行全梢竹盆栽(鞭长约 35 cm),栽植 1 株·盆⁻¹,容器规格为 50 cm × 45 cm(盆高 × 口径)的黑色有孔圆形塑料盆。每盆填基质干质量为 (9.30 ± 0.05) kg,基质为 m (红壤) : m (细砂)=3 : 1 均匀混合而成, pH 值为 pH 5.8, 全氮 421.76 mg·kg⁻¹, 全磷 37.35 mg·kg⁻¹, 全钾 80.01 mg·kg⁻¹。试验共栽植 60 盆盆栽苗。盆栽雷竹苗置于有 1 层遮阳网的荫棚中进行水分适时人工供应的生理恢复培育,养护至 2015 年 5 月中旬,选取生长状况基本一致的盆栽苗进行不同氮素形态配比的试验处理。试验期间平均气温为 23.5 °C, 日最高气温 28.2 °C, 日最低气温 18.3 °C。

1.2 试验设计与处理方法

试验为氮素形态比例单因素试验,用硝酸钠(NaNO_3)提供硝态氮(NO_3^- -N),用硫酸铵[(NH_4)₂ SO_4]提供铵态氮(NH_4^+ -N),设 5 个 NO_3^- -N : NH_4^+ -N 比例(硝铵比)的处理。 T_1 : 1 : 0, T_2 : 2 : 1, T_3 : 1 : 1, T_4 : 1 : 2, T_5 : 0 : 1。重复 3 次·处理⁻¹,3 盆·次⁻¹。根据雷竹生长对主要养分的需求 [m (氮) : m (五氧化二磷) : m (氧化钾)=3 : 1 : 2] 和施肥量的要求^[12],施总氮 12.50 g·盆⁻¹,磷肥 [$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$] 22.94 g·盆⁻¹,钾肥 (KCl) 15.91 g·盆⁻¹。为防止试验过程中硝化作用的进行,在每盆土壤中添加硝化抑制剂二氰二胺 ($\text{C}_2\text{H}_4\text{N}_4$) 1.00 g。

于 2015 年 5 月 10 日进行氮素试验处理,根据试验设计用电子天平(JJ500Y, $d=0.01$ g)称取各处理需添加的硝酸钠、硫酸铵和磷肥、钾肥的量,把称量好的肥料溶于水中,傍晚浇入试验盆栽雷竹苗的盆土中,试验前适量控水以利于养分在盆土中的扩散。试验期间适时适量浇水。每盆底下放置 1 只托盘,每次浇水时用清水清洗托盘内部,并将水倒入盆中,防止盆土中营养的流失。

1.3 取样

试验处理20 d(即2015年6月1日),选取每个处理的雷竹盆栽苗各3盆进行取样,取每个处理每盆立竹竹冠的上部、中部、下部无病虫害的混合成熟叶20片,及1年生竹鞭上的二级根(根径0.5~2.0 mm)10 g左右。测定叶片、二级根的丙二醛(MDA)、可溶性蛋白质质量分数和抗氧化酶活性。

1.4 指标测定方法

酶液的提取:采用混合取样法,取0.2 g新鲜叶片或根系置于预冷的研钵中,加入5.0 mL预冷的50 mmol·L⁻¹磷酸缓冲液(pH 7.8)冰浴研磨,再用相同磷酸缓冲液定容至10.0 mL,4℃10 500 r·min⁻¹离心15 min,取上清液(粗酶液)4℃保存备用。

丙二醛质量分数用硫代巴比妥酸法测定,超氧化物歧化酶(SOD)活性用氮蓝四唑(NBT)光化还原法测定,过氧化物酶(POD)活性用愈创木酚氧化法测定,过氧化氢酶(CAT)活性用紫外吸收法测定,可溶性蛋白质质量分数用考马斯亮蓝G250显色法测定^[13]。重复测定3次·指标⁻¹。

1.5 数据处理及统计分析方法

试验数据在Excel 2003统计软件中进行整理和作图表,方差分析和多重比较分别采用SPSS 16.0统计软件中的One-way ANOVA和Duncan ($\alpha=0.05$)方法完成。试验数据均表示为平均值±标准误差。

2 结果与分析

2.1 氮素形态对雷竹丙二醛质量分数的影响

由图1可知,随着NH₄⁺-N比例的增加,雷竹叶片和根系丙二醛质量分数均呈先降低后升高的变化趋势。相同的硝铵比处理下,叶片丙二醛质量分数均高于根系丙二醛质量分数,是根系的1.06~1.55倍。说明与根系相比,雷竹叶片对不同形态氮素营养的响应更为敏感。单一供应NO₃⁻-N或NH₄⁺-N营养处理的雷竹叶片和根系丙二醛质量分数均高于硝铵混合营养供应。就叶片而言,T₁、T₄和T₅处理间无显著性差异,均显著高于T₂和T₃处理,T₃处理的丙二醛质量分数最低,分别是T₁、T₅处理的0.46、0.41倍;就根系而言,不同氮素形态处理间丙二醛质量分数差异显著,由高到低的处理分别是T₁、T₅、T₄、T₂和T₃,T₃处理的丙二醛质量分数分别是T₁和T₅处理的0.40、0.43倍。说明单一氮素形态营养处理提高了雷竹细胞膜的膜脂过氧化程度,可能对细胞膜造成伤害,而混合营养处理相反,有利于雷竹生长,并且在NO₃⁻-N/NH₄⁺-N为1:1时最佳。

2.2 氮素形态对雷竹超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)和过氧化物酶(POD)活性的影响

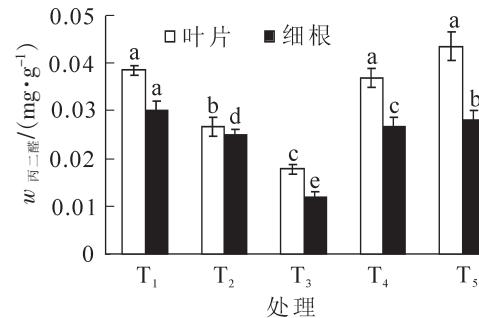
由表1可知:随着NH₄⁺-N比例的增加,雷竹叶片POD活性逐渐增加,叶片SOD、CAT活性和根系SOD、CAT、POD活性均呈先升高后降低的变化趋势。相同的硝铵比处理下,叶片抗氧化酶活性均高于

表1 不同硝铵比处理下雷竹叶片和根系超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)和过氧化物酶(POD)活性

Table 1 The SOD, CAT, and POD activities in leaves and roots of *Phyllostachys violascens* with different ratios of NO₃⁻-N to NH₄⁺-N

处理	SOD/(×16.67 nkat·g ⁻¹)		CAT/(×16.67 nkat·g ⁻¹)		POD/(×16.67 nkat·g ⁻¹)	
	叶片	根系	叶片	根系	叶片	根系
T ₁ (1:0)	741 ± 37 d	473 ± 26 b	2 216 ± 163 d	278 ± 27 d	21 964 ± 710 d	15 467 ± 332 c
T ₂ (2:1)	794 ± 31 c	510 ± 7 a	4 409 ± 121 c	357 ± 18 c	23 304 ± 912 cd	22 046 ± 1 139 b
T ₃ (1:1)	864 ± 12 b	531 ± 12 a	5 557 ± 441 b	436 ± 16 b	25 206 ± 957 c	23 003 ± 2 606 b
T ₄ (1:2)	984 ± 19 a	309 ± 16 c	6 687 ± 151 a	554 ± 32 a	36 489 ± 931 b	27 063 ± 1 114 a
T ₅ (0:1)	461 ± 31 e	86 ± 8 d	6 184 ± 277 a	511 ± 45 a	55 299 ± 1 540 a	22 486 ± 694 b

说明:同列比较,不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),相同小写字母表示差异不显著($P>0.05$)。



同器官不同处理间比较,不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),相同小写字母表示差异不显著($P>0.05$)。

图1 不同硝铵比处理下雷竹叶片和根系丙二醛质量分数

Figure 1 The MDA contents in leaves and roots of *Phyllostachys violascens* with different ratios of NO₃⁻-N to NH₄⁺-N

根系, 也说明叶片较根系对氮素形态的响应更为积极。不同氮素形态处理的雷竹叶片 SOD 活性有显著差异, 以 T₄ 处理最高, 分别较单一氮素形态的 T₁ 和 T₅ 处理增加了 32.78% 和 113.39%。叶片 CAT 活性也以 T₄ 处理最高, 与 T₅ 处理无显著差异, 但显著高于其他处理, 分别较 T₁ 和 T₅ 处理增加了 201.83% 和 8.14%。叶片 POD 活性在各处理间差异显著, 以 T₅ 处理最高。根系 SOD 活性以 T₃ 处理最高, 与 T₂ 处理无显著差异, 但显著高于其他处理, 较 T₁ 和 T₅ 处理增加了 12.13% 和 514.28%。根系 CAT 和 POD 活性以 T₄ 处理最高, 前者较 T₁ 和 T₅ 处理提高了 99.39% 和 8.37%, 后者提高了 74.98% 和 20.36%。说明施加合理的硝铵比混合氮素养分能提高雷竹叶片和根系的抗氧化酶活性, 及时清除活性氧积累, 有利于雷竹生长, 其中以 NO₃⁻-N/NH₄⁺-N 为 1:1 和 1:2 时最佳。

2.3 氮素形态对雷竹可溶性蛋白质质量分数的影响

由图 2 可知: 相同的硝铵比处理下, 雷竹叶片可溶性蛋白质质量分数远高于根系。随着营养供应中 NH₄⁺-N 比例的增加, 雷竹叶片和根系可溶性蛋白质质量分数均呈先升高后降低的变化趋势。其中, 叶片可溶性蛋白质质量分数在 T₂, T₅ 处理间无显著差异, 显著低于 T₃, T₄ 处理, 而显著高于 T₁ 处理, 在 T₅ 处理达到最高。根系可溶性蛋白质质量分数在 T₂ 和 T₄ 处理间无显著差异, 显著高于 T₅ 和 T₁ 处理, 而显著低于 T₃ 处理。硝铵混合营养供应下叶片和根系的可溶性蛋白质质量分数总体上高于单一氮素形态供应, 说明适当的硝铵比混合营养供应有利于雷竹叶片和根系的蛋白质合成, 其中 NO₃⁻-N/NH₄⁺-N 为 1:1 和 1:2 时较佳。

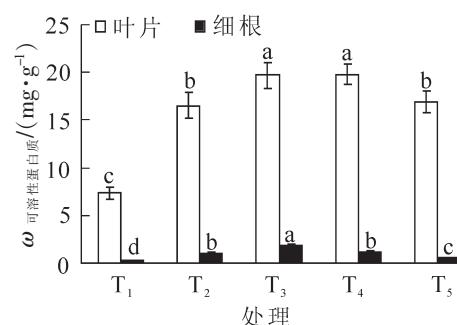
3 讨论

适宜的氮素形态及配比对植物的生长发育和生理代谢是有利的, 但高比例的 NO₃⁻-N 或 NH₄⁺-N 可能对植物产生氧化胁迫, 加快膜脂过氧化进程, 减少蛋白质和糖类的合成, 降低氮同化能力, 从而影响植物良好生长与丰产^[14]。本研究结果表明: 单一氮素形态处理的雷竹叶片和根系丙二醛质量分数均高于混合营养处理, 硝铵比为 1:1 时最低, 这与杭白菊 *Chrysanthemum morifolium*^[15] 和大豆^[8]的研究结果一致, 表明单一营养处理会对细胞膜造成伤害, 不利于植物良好生长。

营养供应中适当增加铵态氮比例可以提高植物叶片净光合速率、促进光合产物的合成, 而充足的光合产物有利于抗坏血酸的合成代谢, 从而提高植物的抗氧化防御能力^[16]。本研究结果表明: 随着 NH₄⁺-N 比例的增加, 雷竹叶片 POD 活性逐渐上升, 叶片 SOD, CAT 活性和根系 SOD, CAT, POD 活性均呈先升高后降低的变化趋势, 且叶片和根系抗氧化酶活性在硝铵比 1:1 和 1:2 时较高, 促使雷竹体内过氧化氢清除, 降低膜脂过氧化程度。产生这种现象的原因可能是单一氮素形态处理抑制了抗氧化酶活性, 不利于活性氧的及时清除, 从而造成过氧化产物的积累^[8]。这意味着适宜的硝铵比对减轻雷竹的氧化损伤具有正效应, 其中以硝铵比 1:1 和 1:2 时抗氧化酶活性较高。

植物体内含量最丰富的核酮糖-1,5-二磷酸羧化酶(Rubisco)约占可溶性蛋白的 50% 以上, 因此, 可溶性蛋白质质量分数可以反映 Rubisco 活性的高低^[17]。本研究表明: 随着 NH₄⁺-N 比例的增加, 叶片和根系的可溶性蛋白质质量分数均呈先升高后降低的变化趋势, 这与卢凤刚等^[18]在韭菜 *Allium tuberosum* 中的研究结果一致, 并在硝铵比为 1:1 和 1:2 时可溶性蛋白质质量分数较高。这意味着此时 Rubisco 蛋白含量较高及固定二氧化碳羧化能力较强。产生这种现象的原因与单一氮素形态供应下活性氧积累并攻击蛋白质, 使蛋白质氧化, 而氧化的蛋白质极易受到蛋白酶的催化而分解^[19], 从而导致可溶性蛋白质含量减少。所以, 进一步表明单一氮素形态供应会使植物细胞内的“微生态”处于恶性循环中^[20], 不利于植物的健康生长。

综上所述, 与单一氮素形态供应相比较, 混合氮素营养供应下雷竹丙二醛质量分数较低, 可溶性蛋白质质量分数和抗氧化酶活性均能维持在较高水平, 其中, 以硝铵比为 1:1 时更为显著, 表明所受的



同器官不同处理间比较, 不同小写字母表示差异显著($P<0.05$), 相同小写字母表示差异不显著($P>0.05$)。

图 2 不同硝铵比处理下雷竹叶片和根系可溶性蛋白质质量分数

Figure 2 The soluble protein contents in leaves and roots of *Phyllostachys violascens* with different ratios of NO₃⁻-N to NH₄⁺-N

膜脂过氧化程度最低，抗氧化能力最强。不同氮素形态及配比营养供应对雷竹生长过程中的过氧化产物和抗氧化系统会产生显著影响，说明不同氮素形态处理下抗氧化系统与雷竹丰产有着密切的联系，有待于进一步深入研究。

4 参考文献

- [1] KRONZUCHER H J, SIDDIQI M Y, GLASS A D M. Conifer root discrimination against soil nitrate and the ecology of forest succession [J]. *Nature*, 1997, **385**(6611): 59 – 61.
- [2] MALAGOLI M, CANAL A D, QUAGGIOTTI S, et al. Differences in nitrate and ammonium uptake between Scots pine and European larch [J]. *Plant Soil*, 2000, **221**(1): 1 – 3.
- [3] PASTOR J, POST W M. Influence of climate, soil moisture, and succession on forest carbon and nitrogen cycles [J]. *Biogeochemistry*, 1986, **2**(1): 3 – 27.
- [4] 邢瑶, 马兴华. 氮素形态对植物生长影响的研究进展[J]. 中国农业科技导报, 2015, **17**(2): 109 – 117.
XING Yao, MA Xinghua. Research progress on effect of nitrogen form on plant growth [J]. *J Agric Sci Technol*, 2015, **17**(2): 109 – 117.
- [5] 张彦东, 白尚斌. 氮素形态对树木养分吸收和生长的影响[J]. 应用生态学报, 2003, **14**(11): 2044 – 2048.
ZHANG Yandong, BAI Shangbin. Effects of nitrogen forms on nutrient uptake and growth of trees [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2003, **14**(11): 2044 – 2048.
- [6] 赵建荣, 秦改花. 不同氮形态配比对菠菜营养品质及抗氧化酶活性的影响[J]. 土壤通报, 2008, **39**(5): 1067 – 1070.
ZHAO Jianrong, QIN Gaihua. Effect of nitrogen forms on nutritional quality and antioxidative enzyme activities of spinach [J]. *Chin J Soil Sci*, 2008, **39**(5): 1067 – 1070.
- [7] 王乾, 王康才, 郑晨曦, 等. 不同形态氮对掌叶半夏生长及块茎主要化学成分的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, **20**(4): 1038 – 1043.
WANG Qian, WANG Kangcui, ZHENG Chenxi, et al. Effect of different nitrogenous forms on growth and chemical component in tuber of *Pinellia pedatisecta* Schott [J]. *Plant Nutr Fert Sci*, 2014, **20**(4): 1038 – 1043.
- [8] 陈磊, 朱月林, 杨立飞, 等. 氮素不同形态配比对菜用大豆生长、种子抗氧化酶活性剂活性氧代谢的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, **16**(3): 768 – 772.
CHEN Lei, ZHU Yuelin, YANG Lifei, et al. Effects of nitrogen forms and ratios on plant growth, seed antioxidant enzyme activities and reactive oxygen metabolism of vegetable soybean [J]. *Plant Nutr Fert Sci*, 2010, **16**(3): 768 – 772.
- [9] 王移, 梁音, 曹龙熹, 等. 雷竹生态系统植物固碳效益及其动态变化[J]. 土壤, 2015, **47**(2): 329 – 333.
WANG Yi, LIANG Yin, CAO Longxi, et al. Vegetation carbon storage efficiency and dynamic of *Phyllostachys praecox* ecology system [J]. *Soils*, 2015, **47**(2): 329 – 333.
- [10] 曾伟, 熊彩云, 肖复明, 等. 不同密度退耕雷竹春季林冠截留特性[J]. 生态学杂志, 2014, **33**(5): 1178 – 1182.
ZENG Wei, XIONG Caiyun, XIAO Fuming, et al. Spring canopy interception characteristics of *Phyllostachys praecox* ‘Prevernalis’ stand converted from cropland at different densities [J]. *Chin J Ecol*, 2014, **33**(5): 1178 – 1182.
- [11] 刘丽, 陈双林. 有机材料林地覆盖对雷竹林生态系统的负面影响研究综述[J]. 广西植物, 2009, **29**(3): 327 – 330.
LIU Li, CHEN Shuanglin. Research summary of the negative influences of the mulched ecosystem of *Phyllostachys praecox* f. *prevernalis* forests with organic materials [J]. *Guizhou Botany*, 2009, **29**(3): 327 – 330.
- [12] 浙江省质量技术监督局. DB33/T224-2015 无公害茭白栽培技术规程[S]. 杭州: 浙江省质量技术监督局, 2015.
- [13] 陈建勋, 王晓峰. 植物生理学实验指导[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2002: 54 – 124.
- [14] LIU P W, NEUMANN G, BANGERTH F, et al. Rapid effects of nitrogen form on leaf morphogenesis in tobacco [J]. *J Exp Bot*, 2000, **51**(343): 227 – 237.
- [15] 张朋, 王康才, 赵杰, 等. 不同铵硝比例对杭白菊次生代谢及抗病性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, **20**(6): 1488 – 1496.
ZHANG Peng, WANG Kangcui, ZHAO Jie, et al. Effects of NH₄⁺-N/NO₃⁻-N ratio on secondary metabolism and disease resistance of *Chrysanthemum morifolium* [J]. *J Plant Nutr Fert*, 2014, **20**(6): 1488 – 1496.

- [16] SMIMOFF N, WHEELER G L. Ascorbic acid in plants: biosynthesis and function [J]. *Crit Rev Biochem Mol Biol*, 2000, **35**(4): 291 – 314.
- [17] LONG S P. Modification of the response of photosynthetic productiivity to rising temperature by atmospheric CO₂ concentrations: has its importance been underestimated? [J]. *Plant Cell Environ*, 1991, **14**: 729 – 739.
- [18] 卢凤刚, 郭丽娟, 陈贵林, 等. 不同氮素形态及配比对韭菜产量和品质的影响[J]. 河北农业大学学报, 2006, **29**(1): 27 – 30.
LU Fenggang, GUO Lijuan, CHEN Guilin, et al. Effects of different nitrogen forms and ratio on the yield and nitrate content of Chinese chive [J]. *J Agric Univ Hebei*, 2006, **29**(1): 27 – 30.
- [19] DAVIES K J. Protein damage and degradation by oxygen radieals (I) general aspects [J]. *J Biol Chem*, 1987, **262**(20): 9898 – 9901.
- [20] 曹翠玲, 李生秀, 张占平. 氮素形态对小麦生长中后期保护酶等生理特性的影响[J]. 土壤通报, 2003, **34**(4): 295 – 298.
CAO Cuiling, LI Shengxiu, ZHANG Zhanping. Effect of N form on the activity of protectiase and wheat yield at the vegetative and reproductive growth stage [J]. *Chin J Soil Sci*, 2003, **34**(4): 295 – 298.